

Vesa Wiik

LINJA-AUTON MOOTTORIN KUNNOSTUS JA SEN VAIKUTUS KULUTUKSEEN JA VÄÄNTÖMOMENTTIIN

Opinnäytetyö
Auto- ja kuljetustekniikan koulutusohjelma
T496SN


Huhtikuu 2012




MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU

Mikkeli University of Applied Sciences

KUVAILULEHTI

 <p>MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU Mikkeli University of Applied Sciences</p>		Opinnäytetyön päivämäärä 19.4.2012	
Tekijä(t) Vesa Wiik		Koulutusohjelma ja suuntautuminen Auto- ja kuljetustekniikka	
Nimeke Linja-auton moottorin kunnostus ja sen vaikutus kulutukseen ja vääntömomenttiin			
Tiivistelmä <p>Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli kuvata linja-auton dieselmoottorin kunnostusta ja tutkia kunnostuksen kannattavuutta kulutuksen ja vääntömomentin avulla.</p> <p>Työn alussa tutustuttiin Scania K82-linja-autoon ja sen DSI 8-moottoriin. Moottori purettiin osiin ja kuluneet osat joko korjattiin tai korvattiin uusilla. Moottorin kuntoa ja ominaisuuksia tutkittiin useilla mittauksilla ennen moottorin kunnostusta ja sen jälkeen. Mittausten perusteella tehtiin teoreettiset laskelmat kunnostuksen kannattavuuden arvioimiseksi.</p> <p>Tuloksista ilmeni, että moottoriin tuli lisää vääntöä keskimäärin 7,9 prosenttia ja polttoaineen kulutus väheni 17,7 prosenttia. Varaosat projektiin saatiin sisäänostohinnalla, eikä varsinaisesta kunnostustyöstä jouduttu maksamaan normaalia veloitusta. Jotta korjauksesta aiheutuneet kulut saataisiin katettua, pitäisi autolla ajaa noin 32000 kilometriä kulutuksen vähenemisen myötä. Mikäli kunnostus olisi teetetty kokonaan normaaleilla varaosahinnoilla ja työtuntiveloituksella, olisi kunnostuksesta aiheutuneiden kulujen kattamiseksi autolla ajettava noin 100000 kilometriä.</p>			
Asiasanat (avainsanat) Scania, linja-auto, dieselmoottori, kulutus, vääntömomentti			
Sivumäärä 27	Kieli Suomi	URN	
Huomautus (huomautukset liitteistä)			
Ohjaavan opettajan nimi Juhani Martikainen		Opinnäytetyön toimeksiantaja	

DESCRIPTION

 <p>MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU Mikkeli University of Applied Sciences</p>		Date of the bachelor's thesis 19.4.2012	
Author(s) Vesa Wiik		Degree programme and option Automotive and Transport Engineering	
Name of the bachelor's thesis The repair of a diesel engine of a bus and the effect of the repair on fuel consumption and torque			
Abstract <p>The purpose of this bachelor's thesis is to report a process of overhauling a diesel engine of a bus and to study the profitability of the repair on fuel consumption and torque.</p> <p>To start with, the bus Scania K82 and the engine DSI 8 were examined, after which the engine was dismantled and worn parts were either repaired or replaced with new parts. Several tests were made about the state and condition of the engine before and after the overhaul. Based on these tests, it was possible to calculate the profitability of the repair work.</p> <p>The results show that the torque of the engine increased by approximately 7.9 per cent and the fuel consumption decreased by 17.7 per cent. In order to cover the costs of the overhaul, one should drive the bus approximately 32000 kilometers considering the lower consumption of fuel. A considerable discount was given for the spare parts and the actual repair work cost nothing, but if the overhaul had had been performed without any discount at a regular price rate, one should have to drive approximately 100000 kilometers to cover the costs of the entire process.</p>			
Subject headings, (keywords) Scania, bus, diesel engine, consumption, torque			
Pages 27		Language Finnish	
URN			
Remarks, notes on appendices			
Tutor Juhani Martikainen		Bachelor's thesis assigned by	

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	1
2	SCANIA K82	2
2.1	DSI 8-moottori.....	2
3	MITTAUSMENETELMÄT JA –LAITTEET	3
3.1	Kulutus.....	3
3.2	Kiihtyvyys.....	4
3.2.1	Vbox Racelogic	5
3.2.2	Raskaan kaluston vaaka	6
3.3	K-arvo	6
3.3.1	Autocom diesel -testerit	7
4	MOOTTORIN KUNNOSTUS.....	8
4.1	Suuttimet.....	8
4.2	Sylinterinkannet	10
4.3	Männät ja sylinterit	11
4.4	Laakerit	13
5	MITTAUSTEN LASKENTA	14
5.1	Kulutus.....	14
5.2	Kiihtyvyys.....	15
5.3	Ajovastukset	16
5.4	Vääntömomentti ja teho.....	20
5.5	K-arvo	24
6	TULOKSET JA KANNATTAVUUS.....	25
7	POHDINTA	26
8	LÄHTEET	27

1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä tutkitaan erilaisten mittausten avulla ison dieselmoottorin kunnostuksen vaikutusta sen vääntömomenttiin ja polttoainetaloudellisuuteen. Huomattava osa työstä koostuu moottorin kunnostuksesta, jossa tarkastetaan ja korjataan kannet, suuttimet, laakerit, sylinterit, männät ja turboahdin. Kunnostustyö tehdään vantaalaisen raskaan kaluston huoltokorjaamon tiloissa.

Mittaukset koostuvat kulutusmittauksista ja kiihtyvyyssmittauksista, ja ne suoritetaan ennen moottorin kunnostusta ja sen jälkeen. Mittausten perusteella tehdään laskelmat, joista käy ilmi polttoainekulutuksen ja moottorin vääntömomentin muutos. Kunnostukseen käytettyjä kustannuksia verrataan polttoainetaloudellisuudesta saatavaan hyötyyn, jolloin voidaan laskea kustannusten takaisinmaksuun tarvittava ajokilometrimäärä.

Työn kohteena on vuonna 1985 valmistettu linja-auto Scania K82, joka on entinen Pohjolan Turistiauto Oy:n pitkän matkan turistibussi. Nykyään auto on muutoksatsastettu yhdeksän hengen matkailuautoksi (kuva 1).

2 SCANIA K82

Scanian mallimerkintä K82 muodostuu seuraavasti: K-kirjain merkitsee sitä, että moottori sijaitsee taka-akselin takapuolella eli auto on takamoottorinen. Numero 8 tarkoittaa moottorin kokoa litroina ja numero 2 tarkoittaa kehitysvaihetta, eli auto on kakkossarjalainen ./1/.

Auton korin on valmistanut Oy Delta Plan Ab, nykyiseltä nimeltään Carrus Delta Oy. Viiden tähden varustelutaso on aikoinaan sisältänyt television, videonauhurin, vessan ja pienen jääkaapin. Koska autolla oli ajettu yli miljoona kilometriä, eikä entisistä mahdollisista moottoriremonteista ollut mitään tietoa, oli aiheellista tarkistaa moottori.



KUVA 1. Työn kohdeauto

2.1 DSI 8-moottori

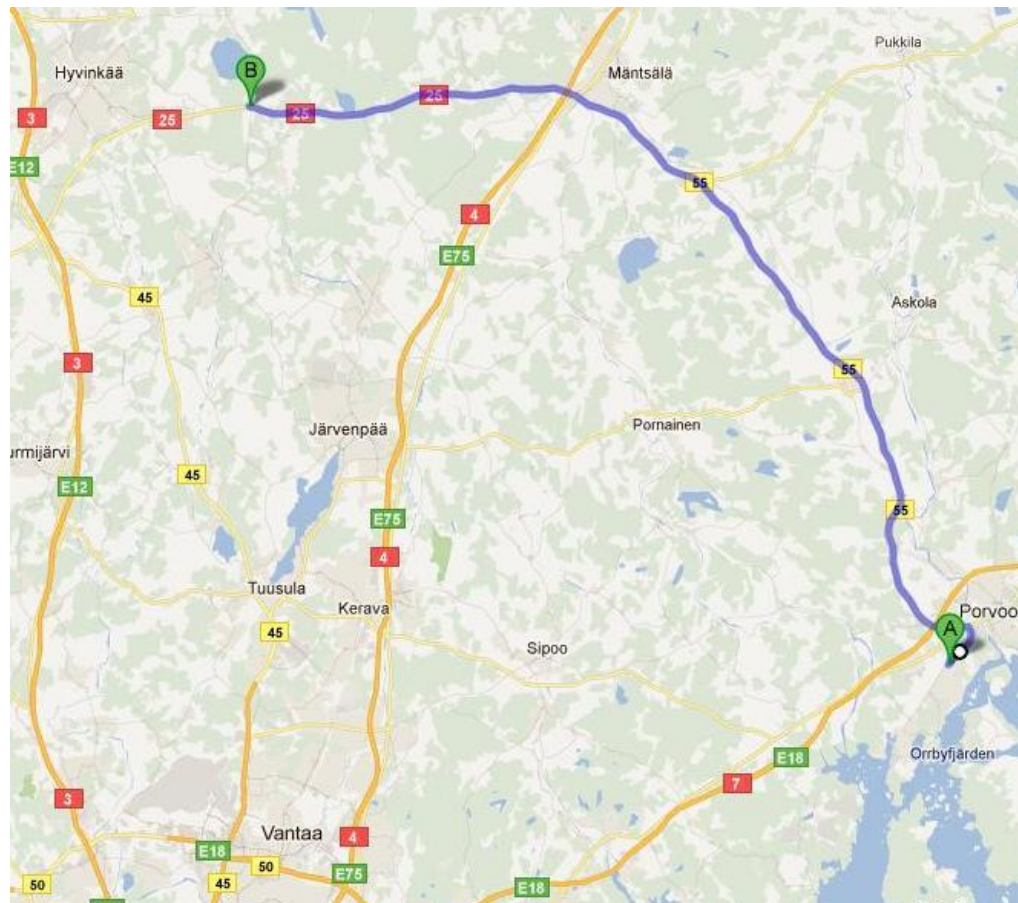
Scanian DSI8-moottoria on käytetty niin linja- kuin kuorma-autoissakin. Moottori on turboahdettu kuusisylinterinen suoraruiskutteinen rivimoottori, ja sen tilavuus on 7,8 litraa. Nokka-akseli sijaitsee lohossa, joten venttiileitä käytetään työntötankojen ja keinuviipujen välityksellä. Venttiileitä on 12, eli kaksi kappaletta sylinteriä kohden. Suurin teho on 170 kW kierrosten ollessa 2400 r/min ja suurin vääntömomentti on 815 Nm kierrosten ollessa 1500 r/min./1/.

3 MITTAUSMENETELMÄT JA –LAITTEET

Mittausten päätarkoitus oli selvittää moottorin kunnostuksen kannattavuus, joka selvisi kulutusmittausten avulla. Samalla mitattiin moottorin vääntömomentti ja savutusarvo. Mittauslaitteina käytettiin mm. matkamittaria, kelloa, VBoxia kiihtyvyyssmittaukseen, vaakaa ja Autocom-dieseltesteriä. Myös kannettava tietokone toimi apuvälineenä.

3.1 Kulutus

Kulutusmittaukset suoritettiin perinteisellä ajomittauksella. Tankki tankattiin täyteen, ajettiin tietty reitti ja tankattiin uudelleen täyteen samalla huoltoasemalla. Ajettu matka alkoi Porvoon Gammelbackan Nesteeltä, ja se jatkui tietä nro 55 kohti Mäntsälää, mistä jatkettiin tietä nro 25 kohti Hyvinkää. Kun oltiin noin Mäntsälän ja Hyvinkään puolivälissä, käännyttiin takaisin Ridasjärven Kylätien risteyksessä ja ajettiin takaisin Porvooseen samalle huoltoasemalle. Ajetun reitin kokonaispituudeksi tuli 108,6 kilometriä.



KUVA 2. Kulutusmittauksen aikana ajettu reitti

Kiihtyvyyssmittauksiin käytettiin mittalaitteina siihen tarkoitettua Vbox Racelogic -laitteistoa sekä raskaan kaluston vaakaa. Lisäksi käytettiin kannettavaa tietokonetta, jonka avulla tuloksia pystyttiin seuraamaan reaaliajassa.



KUVA 4. Kiihtyvyyssmittausten suoritus

3.2.1 Vbox Racelogic

Vbox Racelogic -laitteistoa kuvataan seuraavasti: ”Vbox on tehokas mittainstrumentti, jota käytetään liikkuvan ajoneuvon nopeuden ja paikkatiedon mittaamiseen. Vbox mittalaitteet perustuvat uuden sukupolven tehokkaisiin satelliittivastaanottimiin, joilla voidaan mitata nopeutta, kuljettua matkaa, kiihtyvyyttä, jarrumatkaa, kierrosaikoja, g-voimia ja mm. ajoneuvon tai veneen kallistuksia eri akseleilla.” /2./

3.2.2 Raskaan kaluston vaaka

Vaaka on salkkumallia, ja se koostuu kahdesta vaa'asta ja näyttötaulusta (kuva 5). Vaaka näyttää akselin kokonaispainon sekä erikseen yhdelle pyörälle kohdistuneen painon.



KUVA 5. Raskaan kaluston vaaka

3.3 K-arvo

K-arvon mittaus tapahtuu seuraavasti: ”Dieselkäyttöisten autojen pakokaasupäästöt tarkastetaan mittaamalla kuormattoman moottorin savutus vapaassa kiihdytyksessä joutokäynniltä ruiskutuksen katkaisun pyörimisnopeuteen asti vaihteen ollessa vapaalla ja kytkin kytkettynä (kytkinpoljin vapautettuna). Absorptiokertoimen mittaus tapahtuu valonläpäisyyn perustuvalla opasiteettimenetelmällä, jolloin mittausarvot mitataan ja tallennetaan savutuksen mittalaitetta käyttäen.” /3, s.1./

Absorptiokertoimen eli k-arvon mittaus on tullut pakolliseksi vuonna 1980, ja moottorin tulee alittaa tietyt arvot. Jos ahdetun moottorin k-arvo on kaksi tai pienempi, riittää vain yksi mittaus. Mikäli k-arvo on suurempi kuin kaksi, tarvitaan kolme mittausta ja mittausten keskiarvon tulee olla kolme tai pienempi. Ahtamattoman moottorin raja-arvot ovat pienemmät, eli jos k-arvo on 1,5 tai pienempi, riittää yksi mittaus ja kolmen mittauksen keskiarvon on silloin oltava 2,5 tai pienempi (taulukko 1).

TAULUKKO 1. Suurimmat sallitut k-arvot eri moottoreissa

	K (3 mittaus)	K (1 mittaus)
Ahdettu	3	2
Ahtamaton	2,5	1,5
Euro 4 vm.2006->	1,5	1

3.3.1 Autocom diesel -tester

Auton k-arvo mitattiin Autocom diesel -testerillä. Mittaukset tehtiin ennen moottorin kunnostusta ja sen jälkeen. Testerin tarvitsee moottorin kierrosluvun, sylinterien määrän, pakokaasunäytteen sekä virtaa. Moottorin kierrosluvun testerin saa sähköjohdon välityksellä joko tupakansytyttimestä tai suoraan akun navoilta. Kierroslukutieto tulee laturilta, koska aina yhden sylinterin sytyttäessä kampiakselin pyörintänopeus kiihtyy jonkin verran. Samoin laturin virrantuotossa on havaittavissa pieni piikki, koska laturi ottaa käyttövoimansa kampiakselilta hihnan välityksellä. Sylinterien määrä on tärkeää asettaa oikein, sillä jos esimerkiksi nelisylinterisen auton mittauksessa laitteelle ilmoitetaan sylinterien määräksi 8, jää moottorin kierroslukutiedosta puolet pois. Testerin saa pakokaasunäytteen pakoputken päähän laitettavan putken avulla. Putki menee laitteessa olevaan savukammioon, jossa savutusarvo mitataan antureiden avulla. Sähköä testerin saa pistorasiasta.



KUVA 6. Diesel-testeri kytkettynä

4 MOOTTORIN KUNNOSTUS

Moottorista kunnostettiin suuttimet ja sylinterinkansiin teetätettiin tasohionta, liekkiurien syvennykset ja venttiilinohjureiden sekä -seetien vaihtotyöt. Myös osa venttiileistä uusittiin. Männänrenkaat vaihdettiin, sylinterit hoonattiin kevyesti ja kampiakselin sekä kiertokankien liukulaakerit uusittiin.

Myös ahdin vaihdettiin uuteen, koska vanha oli jo verrattain kulunut. Lisäksi vaihdettiin kaikki moottorin nesteet ja suodattimet.

4.1 Suuttimet

Scanian DSI8-moottorissa on viisireikäiset suuttimet, ja koska moottori on suorasuihkutteinen, suuttimien kärjet ovat palotilassa. Suuttimet on tiivistetty kanteen kuparitivistellä, ja ne pysyvät kiinni kansissa pinnapulttien, mutterien ja kiinnikkeiden avulla. Suuttimen tärkeimmät osat ovat kärki, jousi ja säätöprikka tai -prikat. Kärjessä on neulaventtiili, jonka tulee olla ehjä, jotta suutin ei vuoda. Jousi pitää neulan kiinni tiettyyn paineeseen asti, ja säätöprikoilla säädetään suuttimen avautumispaine.



KUVA 7. Suuttimen pääosat

Suuttimet ovat Boschin valmistamat tyyppiä KBEL109S6/13. Kärkien tyyppimerkintä on DLLA 150S 739. Kyseessä olevan kärjen avautumispaine on 235–243 baria. Suuttimet testattiin vuotojen varalta ja suihkun kuvio tarkistettiin siihen tarkoitettussa testauslaitteessa (kuva 8). Jokaisessa suuttimessa oli liikaa vuotoa eikä suihkun muoto ollut kaikissa oikeaoppinen. Myös avautumispaineet olivat aivan liian alhaiset, sillä ne vaihtelivat 178–210 barin välillä.



KUVA 8. Suuttimen testauslaite

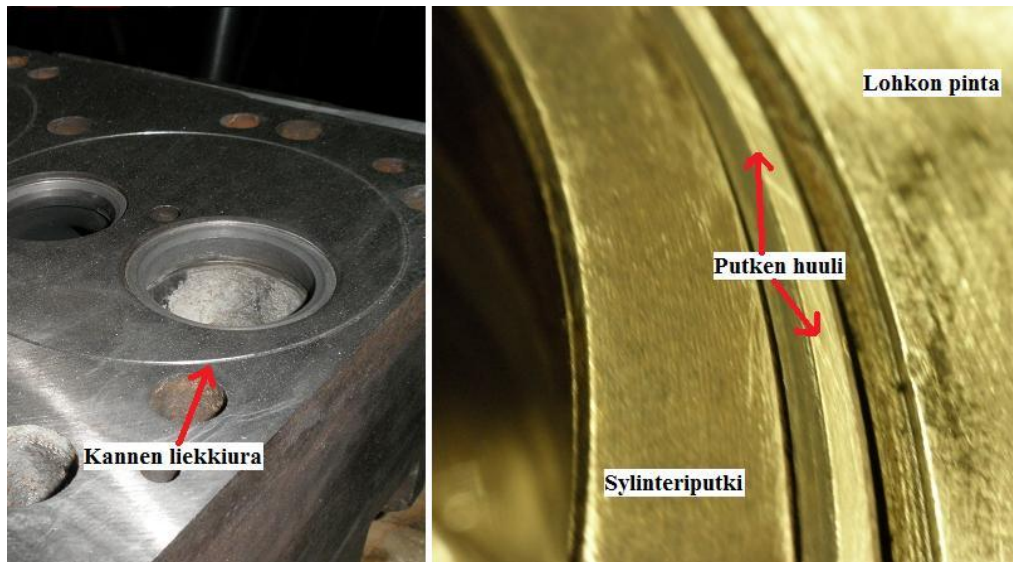
Suuttimiin vaihdettiin uudet kärjet ja avautumispaineet säädettiin kohdalleen. Paineensäätöön tarvittavien säätöprikkojen paksuus tulee mitata mikrometrillä, koska erot ovat millin sadasosia. Avautumispaineet saatiin säädettyä 237–241 barin välille. Tämä arvo oli riittävä, koska paineen ohjearvo on 235–243 baria. Säättötyö vaati kärsivällisyyttä, koska säätöprikan oikea paksuus selvisi vain testaamalla paine testauslaitteessa. Jokaisen testin jälkeen suutin piti avata kokonaan, vaihtaa säätöprikka, koota suutin ja testata paine uudelleen.

TAULUKKO 2. Avautumispaineet ennen ja jälkeen (ohjearvo 235–243 bar)

	syl. 1.	syl. 2.	syl. 3.	syl. 4.	syl. 5.	syl. 6.
Ennen säätöä	185 bar	180 bar	190 bar	200 bar	210 bar	178 bar
Säädön jälkeen	241 bar	238 bar	238 bar	237 bar	238 bar	238 bar

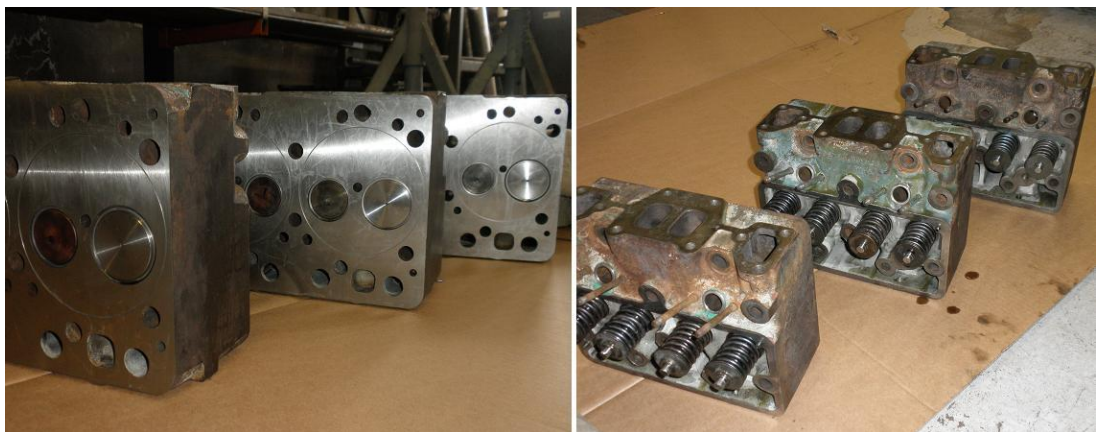
4.2 Sylinterinkannet

Moottorissa on kolme kantta, eli yksi kansi on kahdelle sylinterille. Kansissa on ns. liekkiurat, joita vasten sylinteriputken huuli painaa kansitiivisteeseen. Näin saadaan hyvä tiivistys palotilan ja nestekanavien välille.



KUVA 9. Liekkiura ja sylinteriputken huuli

Osa kannen venttiileistä oli erittäin kuluneita, ja venttiilinojurit olivat väljiä. Viisainta oli uusia kaikki venttiilinojurit sekä imuventtiilit. Myös osa venttiiliseeteistä oli niin kuluneita, että ne oli uusittava. Kannot vietiin koneistamolle, missä ne tasohiottiin ja niihin jyrtsittiin liekkiurat. Myös ohjurit sekä seetit asennettiin koneistamolla. Muiden pintojen puhdistus ja venttiilien asennus tehtiin itse.



KUVA 10. Kannot valmiina asennettavaksi

4.3 Männät ja sylinterit

Moottorin männissä ja sylintereissä ei ollut suurempia kulumia, joten moottori päätettiin koota käyttämällä vanhoja sylinteriputkia ja mäntiä. Sylinterit hoonattiin kevyesti, ja mäntiin vaihdettiin uudet männänrenkaat. Hoonauksessa käytettiin siihen tarkoitettua työkalua, jossa on kolme hiomakiveä. Itse työkalu kiinnitetään porakoneeseen, työnnetään sylinteriin ja vedetään ylös. Porakoneessa tulee pitää sama kierrosluku koko työn ajan.

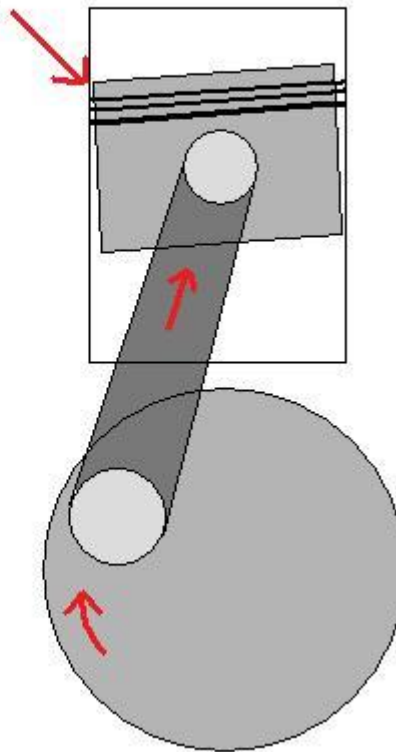


KUVA 11. Hoonastyökalu

Männänrenkaat tarkistettiin, etteivät ne olleet väljiä männän uriin ja että renkaiden päittäisvälys ei ollut liian suuri sylinterissä. Tämän moottorin männässä on kaksi puristusrengasta ja yksi öljyrenkas. Puristusrenkaat ovat kaksi ylimmäistä rengasta, ja nimensä mukaisesti ne pitävät puristuksen männän yläpuolella, eli ne tiivistävät sylinterin ja männän välisen alueen palokaasuilta. Alin rengas eli öljyrenkas voitelee sylinteriputken ja männän välisen alueen.

Männänrenkaat asennettiin niin, että ne olisivat mahdollisimman tiiviit. Männän ja sylinterin välissä on aina vällys, ja männällä onkin tapana hieman kaatua sylinterissä. Kun tarkastellaan tilannetta kampiakselin pitkittäissuunnasta ja kun kampiakseli pyörii myötäpäivään ja mäntä menee ylöspäin, kaatuu männän yläpää vasemmalle. Tämän vuoksi oli viisainta asettaa ylimmän puristusrenkaan katkoskohta juuri vasemmalle puolelle, koska siellä männän yläpää on mahdollisimman lähellä sylinterin seinää. Toisen puristusrenkaan katkoskohta asetettiin ylemmän renkaan katkoskohdan vastapuolelle ja alimman, eli öljyrenkaan katkoskohta laitettiin näiden kahden välille, 90 astetta kummastakin.

**Ylemmän
männänrenkaan
katkos tällä puolella**



KUVA 12. Liioiteltu kuva männän kaatumisesta puristustahdin aikana

4.4 Laakerit

Kiertokankien laakerit sekä kampiakselin runkolaakerit vaihdettiin uusiin. Samalla uusittiin myös kampiakselin päittäislevyt, jotka estävät akselia liikkumasta sen pitkitäissuunnassa. Kiertokankien laakereissa oli havaittavissa normaalia kulumaa, kun taas osa runkolaakereista oli kulunut huomattavasti eli laakerimateriaali oli jo kulunut pois kokonaan (kuva13).



KUVA 13. Kampiakselin päittäislevyt ja runkolaakerit

Runkolaakerien vaihtoa varten ei ollut välttämätöntä poistaa kampiakselia, vaan vaihtotyö onnistui kampiakselin ollessa paikoillaan aina avaamalla yksi laakeripukki kerrallaan ja työntämällä laakeriliuska pois akselin kaulalta. Samalla tarkistettiin myös kampiakselin laakeripinnat, eikä niissä näkynyt kulumaa.

5 MITTAUSTEN LASKENTA

Koska mittaukset oli suoritettu ennen kunnostusta ja sen jälkeen, pystyi niiden avulla laskemaan polttoaineen kulutukset, kiihtyvyydet, ajovastukset, moottorin vääntömomentit ja tehot sekä k-arvot.

Kiihtyvyyssmittauksissa mitattiin, miten kauan aikaa kuluu 10 km/h:n nopeudenmuutokseen, ja saatu tulos vaihdettiin keskikihtyvyydeksi. Esimerkiksi 50–60 km/h nopeudenmuutoksesta saatava kiihtyvyysarvo olisi sama 55 km/h nopeudessa. Näin oli helpompaa laskea muut suureet samalle nopeudelle.

5.1 Kulutus

Kulutusmittaukset suoritettiin käytännöllisellä ja tarkoitukseen nähden riittävän tarkalla menetelmällä. Ennen mittauksia tankattiin tankki täyteen, sitten ajettiin sama reitti ennen kunnostusta ja sen jälkeen. Ajo-osuuksien jälkeen ajettiin samalle huoltoasemalle ja tankattiin samasta polttoainepumpusta tankki jälleen täyteen. Näin saatiin selville polttoaineen kulutus sadalla kilometrillä. Nopeus oli koko matkan ajan 80 km/h ja moottorin kierrosluku 1460 r/min. Risteysalueilla oli toki tarvittaessa pysähtyttävä ja ajettava hitaammin.

Mittauksissa ajettu matka oli 108,6 kilometriä. Ennen moottorin kunnostusta ajetun matkan jälkeen tankkiin mahtui 25,66 litraa dieseliä. Laskemalla saatiin vastaukseksi 23,63 litraa sadalla kilometrillä:

$$\frac{25,66l}{108,6km} \approx 0,2363 l/km = 23,63l/100km. \quad (1)$$

Moottorin kunnostuksen jälkeen ajetun matkan päätteeksi tankkiin mahtui 21,12 litraa dieseliä. Samaa kaavaa käyttäen saatiin tulokseksi 19,45 litraa sadalla kilometrillä:

$$\frac{21,12l}{108,6km} \approx 0,1945 l/km = 19,45l/100km. \quad (2)$$

Näiden mittausten perusteella polttoainetalous parani peräti 4,18 litraa eli 17,69 prosenttia:

$$23,63l - 19,45l = 4,18l, \text{ eli } \frac{4,18l}{0,2363l} \approx 17,69\% . \quad (3)$$

5.2 Kiihtyvyys

Kiihtyvyyssmittauksissa tärkein apulaite oli Vbox-mittalaitteisto. Sen avulla pystyttiin määrittämään ajoneuvon tarkka nopeus satelliittiyhteyden avulla. Mittaukset suoritettiin 50 km/h nopeudesta 90 km/h nopeuteen asti. Vbox-laite rekisteröi automaattisesti ajan, joka kului 10 km/h nopeuden muutokseen. Lisäksi mukana mittauksissa oli Vbox:iin liitetty kannettava tietokone, jolla pystyttiin seuraamaan reaaliaikaisesti mitausten tuloksia.

Mittaukset suoritettiin kahdeksannella vaihteella, koska sillä vaikutti olevan hyvä kierrosalue koko 50–90 km/h ajan; kun nopeus oli 50 km/h, oli moottorin kierrosluku 1241,38 r/min, ja kun nopeus oli 90 km/h, olivat kierrokset 2234,49 r/min. Teknisten tietojen mukaan moottorin paras vääntömomentti on 1500 r/min.

Kun Vbox ilmoitti vain ajan, joka kului 10 km/h nopeuden muutokseen, kiihtyvyys saatiin laskettua kaavalla:

$$a = \frac{v - v_0}{t}, \quad (4)$$

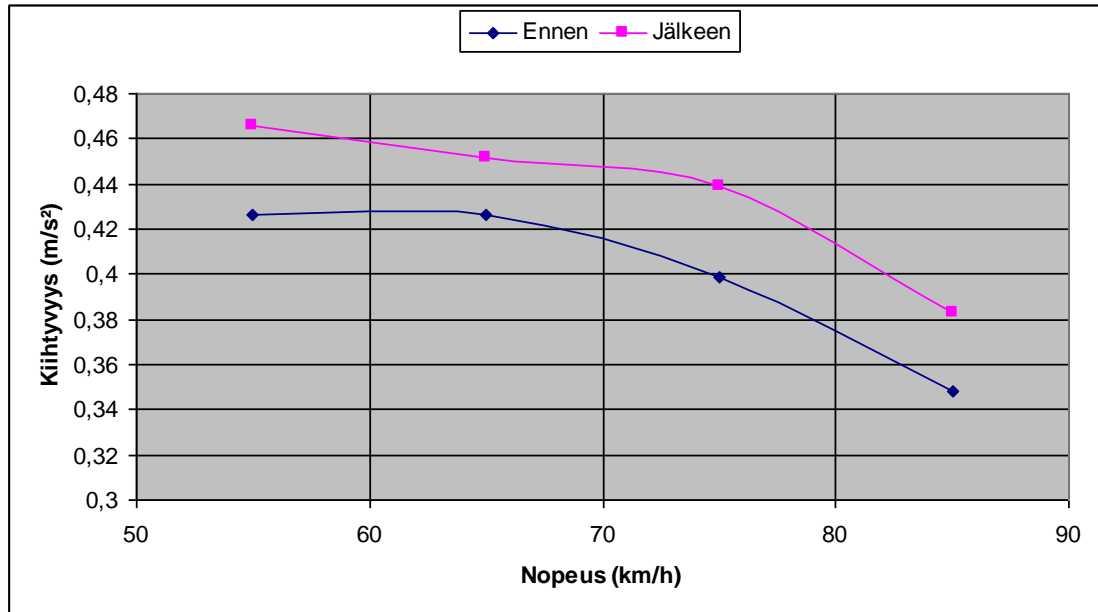
jossa v on loppunopeus, v_0 on alkunopeus ja t on aika. Esimerkiksi ennen kunnostusta mitattujen kiihtyvyyksien keskiarvo välillä 50–60 km/h on 0,43 m/s²:

$$a = \frac{16,67 \text{ m/s} - 13,89 \text{ m/s}}{6,52 \text{ s}} \approx 0,43 \text{ m/s}^2. \quad (5)$$

Jokaisesta mittauksesta laskettiin kiihtyvyys ja tuloksista keskiarvo kiihtyvyyksille ennen moottorin kunnostusta ja sen jälkeen. Tulokset on esitetty taulukossa 3.

TAULUKKO 3. Kiihtyvyyssmittausten keskiarvot ennen kunnostusta ja sen jälkeen

Nopeus (km/h)	Kiihtyvyys (m/s ²)	Kiihtyvyys (m/s ²)
	ennen	jälkeen
55	0,4261	0,4659
65	0,4259	0,4516
75	0,3988	0,4393
85	0,3485	0,3831

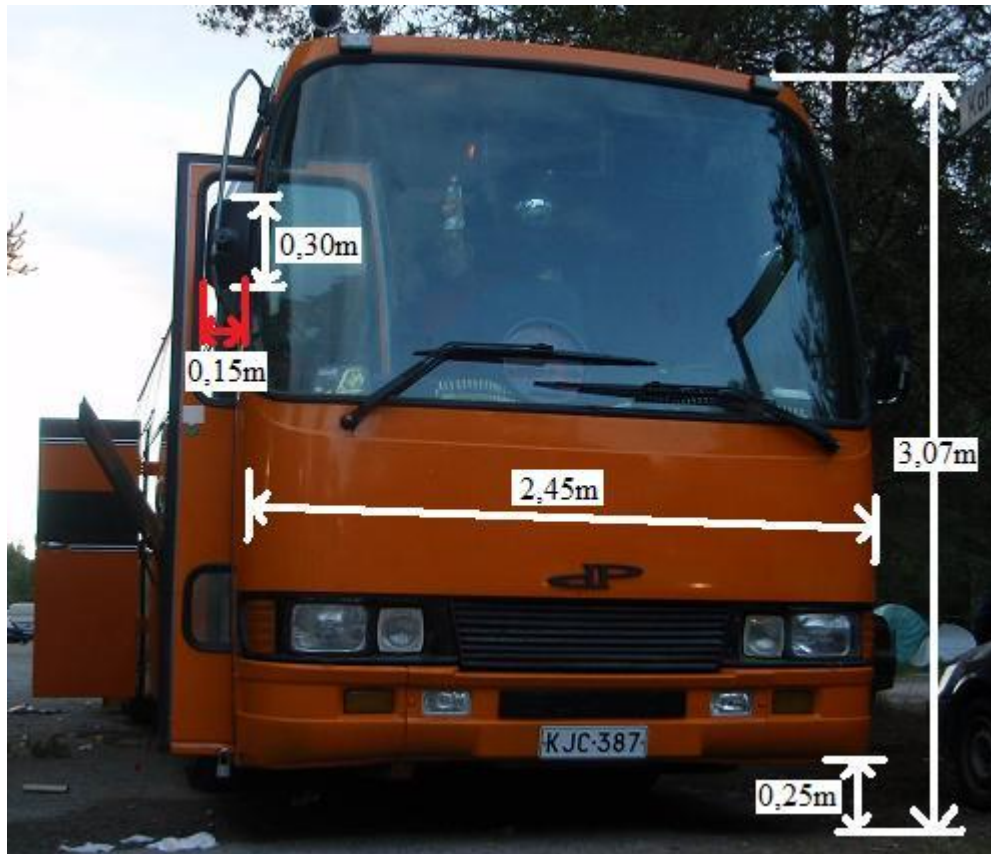


KUVA 14. Kiihtyvyysskuaajat ennen kunnostusta ja sen jälkeen

5.3 Ajovastukset

Kokonaisajovastus F_w koostuu useasta eri voimasta. Suurimmat niistä ovat ilmanvastus F_L , vierintävastus F_{Ro} ja nousuvastus F_{St} . Tässä työssä jätettiin nousuvastus kokonaan laskematta, koska sitä on varsin hankala mitata. Nousuvastus eli mäktivastus ei vaikuta lopputulokseen, koska kiihtyvyyssmittaukset suoritettiin samoilta linja-autopysäkeiltä ennen kunnostusta ja sen jälkeen. Toisin sanoen nousuvastukset pysyivät samoina molemmilla mittauksilla.

Ilmanvastuksen laskemiseen tarvitaan auton otsapinta-ala, ilmanvastuskerroin sekä laskukaava. Kuvassa numero 15 näkyvät auton keulan mitat otsapinta-alan laskemista varten. Myös peilit laskettiin mukaan pinta-alaan, koska ne ovat varsin kookkaat.



KUVA 15. Ajoneuvon keulan mitat

Laskemalla saatiin peilien pinta-alaksi 0,09 neliömetriä:

$$A_{\text{peilit}} = 2 \cdot (0,30\text{m} \cdot 0,15\text{m}) = 0,09\text{m}^2. \quad (6)$$

Ilmanvastusvoimaan vaikuttava keulan kokonaispinta-ala on 7 neliömetriä:

$$A = 2,45\text{m} \cdot (3,07\text{m} - 0,25\text{m}) + 0,09\text{m}^2 = 6,909\text{m}^2 + 0,09\text{m}^2 = 6,999\text{m}^2 \approx 7\text{m}^2. \quad (7)$$

Ilmanvastusvoima lasketaan kaavalla:

$$F_L = 0,5 \cdot \rho \cdot c_w \cdot A \cdot v^2, \quad (8)$$

jossa ρ on ilmantiheys, c_w on ajoneuvon ilmanvastuskerroin, A on ajoneuvon otsapinta-ala ja v on ajoneuvon nopeus. Ilmantiheys on $1,202 \text{ kg/m}^3$ 200 metrin korkeudessa meren pinnasta. Ilmanvastuskerroin linja-autolle on 0,6-0,7 joten työssä olevalle ajoneuvolle valittiin kertoimeksi 0,65 /4, s.380/. Esimerkiksi 55 km/h:n (15,28 m/s) nopeudella ilmanvastus on 638,46 Newtonia:

$$\begin{aligned} F_L &= 0,5 \cdot 1,202 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,65 \cdot 7\text{m}^2 \cdot (15,28\text{m/s})^2 = \\ &= 0,601 \text{ kg/m}^3 \cdot 4,55\text{m}^2 \cdot 233,4784 \text{ m}^2/\text{s}^2 \approx 638,46 \text{ kgm/s}^2 = 638,46\text{N} \end{aligned} \quad (9)$$

Taulukossa 4 näkyvät muilla nopeuksilla lasketut ilmanvastusvoimat.

TAULUKKO 4. Ilmanvastusvoima eri nopeuksilla

Nopeus (km/h)	Ilmanvastus (N)
55	638,46
65	891,91
75	1186,49
85	1524,33

Vierintävastus lasketaan kaavalla:

$$F_{Ro} = f \cdot G = f \cdot m \cdot g, \quad (10)$$

jossa f on vierintävastuskerroin ja G on painovoima, joka koostuu ajoneuvon massasta (m) sekä putoamiskiihtyvyydestä (g). Putoamiskiihtyvyys g on vakio $9,81 \text{ m/s}^2$. Vierintävastuskerroin riippuu renkaan ominaisuuksista. Tähän työhön sopiva kerroin $f = 0,07$ löytyi Autoteknisestä taskukirjasta [4, s.379]. Kerroin myös muuttuu nopeuden noustessa, joten voitiin päätellä, että 55 km/h:n nopeudessa kerroin on 0,07 ja 85 km/h:n nopeudessa 0,08.

TAULUKKO 5. Vierintävastuskerroin eri nopeuksilla

Nopeus (km/h)	Vierintävastuskerroin
55	0,007
65	0,0733
75	0,0766
85	0,008

Kun ennen moottorin kunnostusta tehdyissä mittauksissa auton massa oli 11507,09 kg, saatiin vierintävastusvoimaksi esimerkiksi 55 km/h:n nopeudella 1128,85 Newtonia käyttäen kaavaa:

$$F_{Ro} = 0,01 \cdot 11507,09 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \approx 1128,85 \text{ N}. \quad (11)$$

Taulukossa 6 on esitetty muille nopeuksille lasketut vierintävastukset.

TAULUKKO 6. Vierintävastukset ennen moottorin kunnostusta

Nopeus (km/h)	Vierintävastus (N)
55	790,19
65	827,44
75	864,7
85	903,08

Moottorin kunnostuksen jälkeen tehdyissä mittauksissa auton massa oli 11719,89 kg. Vierintävastukset laskettiin moottorin kunnostuksen jälkeen uudella massalla. Vierintävastukset näkyvät taulukossa 7.

TAULUKKO 7. Vierintävastukset moottorin kunnostuksen jälkeen

Nopeus (km/h)	Vierintävastus (N)
55	804,80
65	842,75
75	880,69
85	919,78

Tämän jälkeen laskettiin yhteen ilmanvastukset ja vierintävastukset ja tulokseksi saatiin kokonaisajovastukset eri nopeuksille. Taulukossa 8 näkyvät kokonaisajovastukset ennen moottorin kunnostusta ja taulukossa 9 kunnostuksen jälkeen.

TAULUKKO 8. Kokonaisajovastukset ennen moottorin kunnostusta

Nopeus (km/h)	Kokonaisvastus (N)
55	1428,65
65	1719,35
75	2051,19
85	2427,40

TAULUKKO 9. Kokonaisajovastukset moottorin kunnostuksen jälkeen

Nopeus (km/h)	Kokonaisvastus (N)
55	1443,26
65	1734,66
75	2067,18
85	2444,10

5.4 Vääntömomentti ja teho

Kiihtyvyyksien laskemisen jälkeen seuraava vaihe oli voiman määrittäminen, mikä onnistui kaavalla $F = ma$, jossa m on ajoneuvon massa ja a on kiihtyvyys.

Esimerkiksi ennen kunnostusta mitatun ensimmäisen mittauksen voima 55 km/h:n nopeudella on 4903,432 Newtonia:

$$F = 11507,09 \text{ kg} \cdot 0,426 \text{ m/s}^2 \approx 4903,432 \text{ N} . \quad (12)$$

Tämä on voima, joka on laskettu kiihtyvyyden perusteella. Kun lisätään voimaan ajovastus, joka on laskettu samalle nopeudelle, saadaan tulokseksi 6332,082 Newtonia:

$$4903,432 \text{ N} + 1428,65 \text{ N} = 6332,082 \text{ N} . \quad (13)$$

Tämä on siis voima, joka vaikuttaa vetävien renkaiden ja tienpinnan välillä.

Renkaan dynaaminen säde on asfaltin ja akselin keskiosan välinen matka. Se mitattiin mittanauhalla, ja säde oli 503 millimetriä. Näin ollen saatiin vetoakselien päistä tulevaksi vääntömomentiksi 3185,04 Newtonmetriä kaavalla:

$$6332,082 \text{ N} \cdot 0,503 \text{ m} \approx 3185,04 \text{ Nm} . \quad (14)$$

Seuraavassa vaiheessa oli määritettävä moottorilta tuleva vääntömomentti. Tässä tuli huomioda akselin eli renkaan pyörintänopeus, tasauspyörästäön välityssuhde, vaihteiston välityssuhde kahdeksannella vaihteella, moottorin pyörintänopeus sekä koko voimansiirron hyötysuhde. Kun tiedettiin tarkka Vboxilla mitattu nopeus sekä voimansiirron kokonaisvälityssuhde asfaltista moottorin kampiakselille asti, pystyttiin laskemaan moottorin täsmällinen kierrosluku eri nopeuksille.

Ensin tuli laskea renkaan dynaaminen kehä, joka saadaan kaavalla: $2\pi \cdot r$ jossa r on renkaan dynaaminen säde. Tulokseksi saatiin 3,159 metriä:

$$2\pi \cdot 0,503 \text{ m} \approx 3,159 \text{ m} . \quad (15)$$

Seuraavaksi selvitettiin voimansiirron kokonaisvälityssuhde, joka on moottorin ja renkaan pyörintänopeuksien suhde. Tarvittavat välityssuhteet löydettiin linja-auton mukana olleesta käyttöohjekirjasta; vetopyörästäön välityssuhde on 3,46 ja kahdeksannen vaihteen välityssuhde on 1,36:1 /4/.

Ensin laskettiin renkaan pyörintänopeus, joka onnistui kaavalla:

$$n_{Re\ ngas} = \frac{v_{Auto}}{s_{Dyn}} , \quad (16)$$

jossa v_{Auto} on ajoneuvon nopeus ja s_{Dyn} on renkaan dynaaminen vierintäkehä. Tulokseksi saatiin 55 km/h:n (15,28 m/s) nopeudessa 4,837 kierrosta sekunnissa:

$$n_{Rengas} = \frac{15,28\ m/s}{3,159\ m} = 4,837\ r/s . \quad (17)$$

Sitten laskettiin kardaanin pyörintänopeus, joka saatiin kaavalla:

$$n_{Kard.} = n_{Re\ ngas} \cdot i_{Vetop.} , \quad (18)$$

jossa $i_{Vetop.}$ on vetopyörästön välityssuhde. Vastaukseksi tuli 16,734 kierrosta sekunnissa:

$$n_{Kard.} = 4,837\ r/s \cdot 3,46 = 16,734\ r/s . \quad (19)$$

Seuraavaksi laskettiin moottorin kampiakselin pyörintänopeus kaavalla:

$$n_{Moott.} = n_{Kard.} \cdot i_{Vaiht.} , \quad (20)$$

jossa $i_{Vaiht.}$ on vaihteiston välityssuhde kahdeksannen vaihteen ollessa päällä. Tulokseksi saatiin 22,759 kierrosta sekunnissa, eli 1365,522 kierrosta minuutissa:

$$n_{Moott.} = 16,734\ r/s \cdot 1,36 = 22,759\ r/s = 1365,522\ r/min . \quad (21)$$

Kun tässä vaiheessa tiedettiin renkaassa vaikuttava vääntömomentti, renkaan pyörintänopeus ja moottorin pyörintänopeus, pystyttiin laskemaan moottorin vääntömomentti. Vastaukseksi saatiin 676,86 Newtonmetriä kaavalla:

$$M_{Moott.} = \frac{M_{Re\ ngas}}{i_{Kok.}} = \frac{3185,04\ Nm}{4,7056} = 676,86\ Nm . \quad (22)$$

Jotta vääntömomentti olisi oikea, oli moottorin vääntömomenttiin vielä lisättävä voimansiirrossa tapahtuva häviö. Yrityksistä huolimatta ajoneuvoon ei löytynyt mistään oikeaa voimansiirron hyötysuhdetta. Henkilöautoilla, joissa moottori on pitkittäin, hyötysuhde on 0,88–0,91. Kun linja-autoissa kaikki laakerit ovat isommat ja rattaiden kitkapinnat suuremmat, täytyy myös voimansiirron häviön olla suurempi.

Kun moottori tuottaa edelleenkin mustaa savua ja ahtopaineet ovat normaalit, on edellinen omistaja mitä todennäköisimmin säätänyt polttoaineensyöttöä suuremmalle.

Kokeilemalla saatiin sopivaksi voimansiirron hyötysuhteeksi 0,84. Tällä hyötysuhteella kunnostetun moottorin vääntömomentti on hiukan valmistajan kertomaa vääntömomenttia suurempi isomman polttoaineensyötön takia.

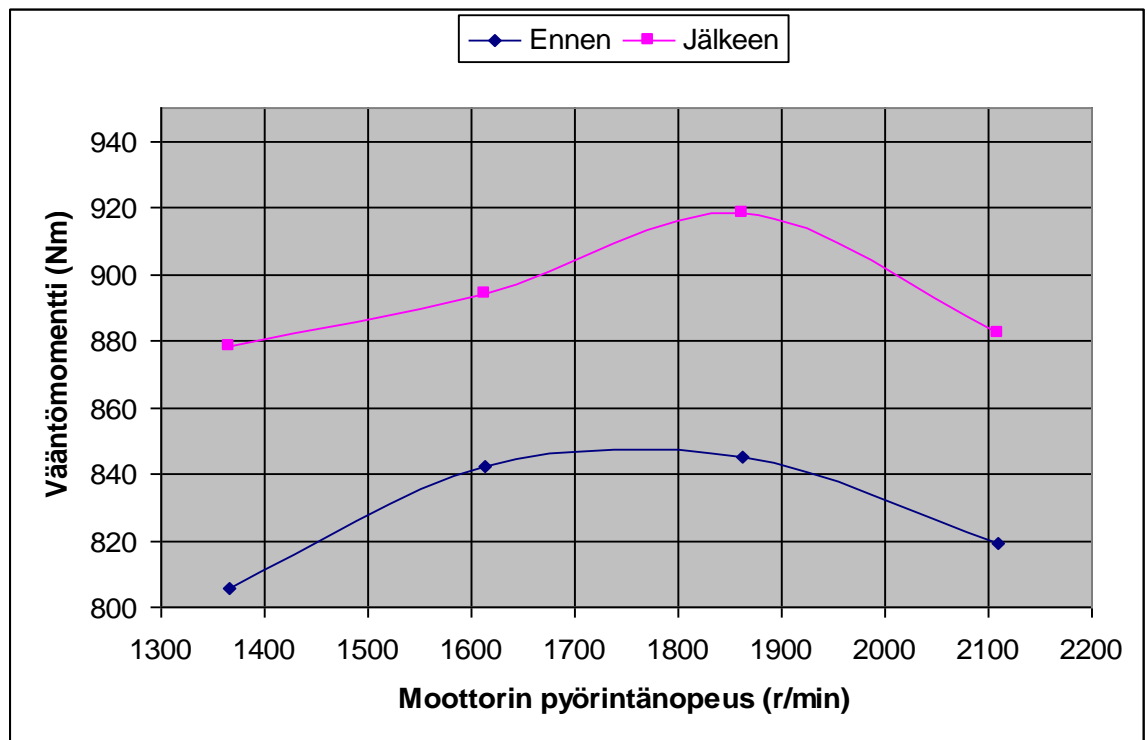
Kun moottorin vääntömomentti on ennen moottorin kunnostusta 676,86 Nm/1365,522 r/min ilman voimansiirron hävikkiä, saatiin vastaukseksi hävikin kanssa 805,79 Newtonmetriä:

$$\frac{676,86Nm}{0,84} = 805,79Nm. \quad (23)$$

Taulukossa 10 näkyvät muilla moottorin pyörintänopeuksilla mitatut vääntömomenttien keskiarvot.

TAULUKKO 10. Moottorin vääntömomentti ennen kunnostusta ja sen jälkeen

Pyörintänopeus (r/min)	Vääntömomentti ennen (Nm)	Parannus (%)	Vääntömomentti jälkeen (Nm)
1366	805,79	9,03	878,55
1614	842,50	6,15	894,32
1862	844,95	8,67	918,17
2110	819,29	7,70	882,35



KUVA 16. Moottorin vääntömomenttikuvajaajat ennen kunnostusta ja sen jälkeen

Teho saatiin laskemalla kaavalla:

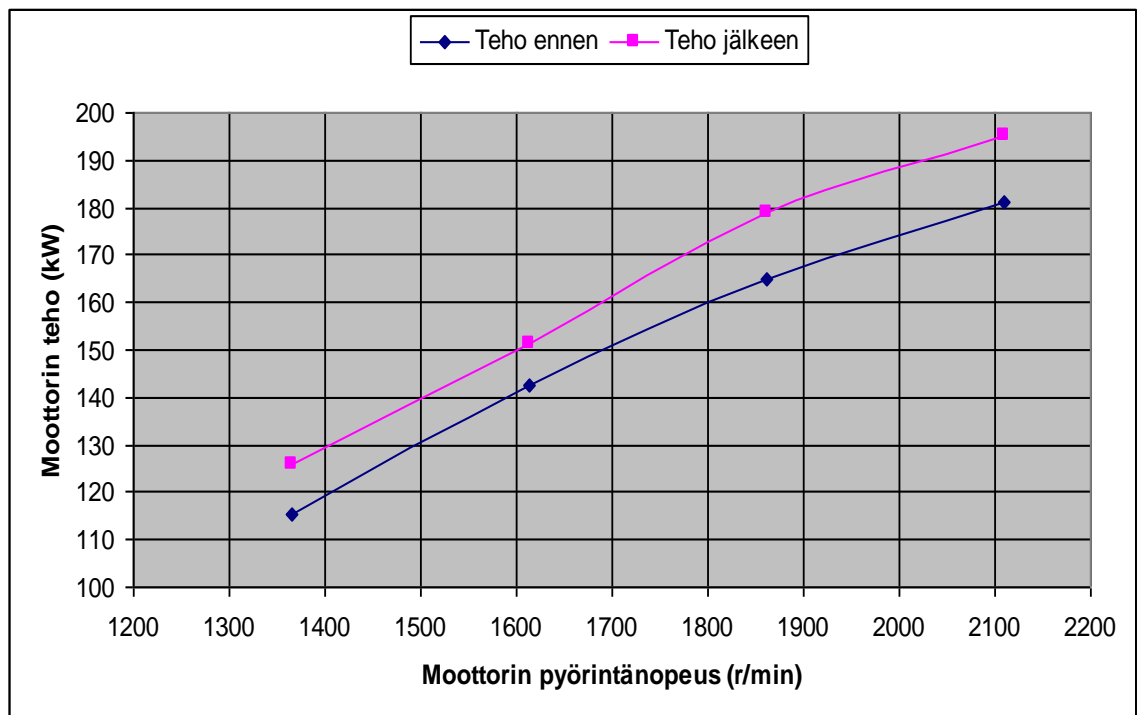
$$P = M \cdot \omega = 805,79 \text{ Nm} \cdot 2\pi \cdot 22,77 \frac{\text{r}}{\text{s}} = 115265 \text{ W} \approx 115,27 \text{ kW}, \quad (24)$$

jossa M on moottorin vääntömomentti ja ω on kulmanopeus (2π kerrottuna moottorin pyörintänopeudella).

Taulukossa 11 näkyvät muille pyörintänopeuksille lasketut tehot. Taulukossa ei siis näy moottorin huipputehoa, koska käyttöohjekirjan mukaan huipputeho syntyy vasta kierrosten ollessa 2400 r/min/1/.

TAULUKKO 11. Moottorin teho ennen kunnostusta ja sen jälkeen

Pyör.nop. (r/min)	Teho ennen (kW)	Teho jälkeen (kW)
1366	115,27	125,67
1614	142,40	151,15
1862	164,76	179,03
2110	181,03	194,96



KUVA 17. Moottorin tehokuvaajat ennen kunnostusta ja sen jälkeen

5.5 K-arvo

K-arvo ei juurikaan muuttunut moottorin kunnostuksen myötä, mutta silmin nähtävä valkea savutus loppui kokonaan. Valkea savu luultavasti johtui vuotavista suuttimista. K-arvoon vaikuttaa enemmän nokinen musta savu, koska arvo perustuu savun valonläpäisevyyteen. Näin voidaan päätellä, että vaikka moottori savutti reilusti ennen kunnostusta, ei valkeanharmaa savu vaikuttanut k-arvoon. Mittaustuloksista kävi ilmi, että huippukierrokset nousivat noin 100 r/min. Koska moottori tuottaa vielä kunnostuksen jälkeenkin mustaa savua ja vääntömomentti on tehtaan ilmoittamaa suurempi, johtuu se todennäköisesti siitä, että syöttöpumpun ruiskutusta on säädetty suuremmalle.

TAULUKKO 12. Pakokaasumittaus ennen kunnostusta ja sen jälkeen

Mittaus ennen:				
	K-arvo (1/m)	Aika (s)	Min (r/min)	Max (r/min)
1.	2,83	1,76	530	2540
2.	2,04	1,63	550	2560
3.	2,2	1,49	600	2590
Keskiarvo:	2,36			
Mittaus jälkeen:				
	K-arvo (1/m)	Aika (s)	Min (r/min)	Max (r/min)
1.	2,57	1,77	570	2670
2.	2,42	1,63	610	2670
3.	2,43	1,63	616	2670
Keskiarvo:	2,47			

6 TULOKSET JA KANNATTAVUUS

Moottorin vääntömomentti nousi keskimäärin 7,9 prosenttia kunnostuksen myötä, mikä helpottaa ajamista mäkisillä teillä. Myös polttoainetaloudellisuus parani 4,18 litraa sadalla kilometrillä eli 17,69 prosenttia.

Moottorin kunnostukseen tarvittavat osat maksoivat yhteensä 2091,52 euroa. Koska osallistun itse auton kuluihin, en ottanut työstä korvausta. Työn kannattavuus näkyy polttoaineen kulutuksessa ja mittausten perusteella kulutus väheni 4,18 litraa sadalla kilometrillä. Seuraavaksi laskettiin, miten monta kilometriä autolla pitää ajaa, jotta kunnostus maksaisi itsensä takaisin. Dieselin keskihinta 30.3.2012 oli 1,568 euroa, joten sadan kilometrin ajolla säästöä kertyy: $4,18l \cdot 1,568e \approx 6,55e$ /5/. Selvisi, että autolla pitäisi ajaa noin 32000 kilometriä kulujen kattamiseksi:

$$\left(\frac{2091,52e}{6,55e} \right) \cdot 100km = 31911km. \quad (25)$$

7 POHDINTA

Vääntömomenttikäyrä poikkeaa varsin paljon normaalista ison dieselmoottorin vääntömomenttikäyrästä. Tämä voi johtua hukkaportittomasta turbosta ja siitä, että ruiskutusta on säädetty suuremmalle. Kun turbossa ei ole lainkaan hukkaporttia, joka pitää ahtopaineen tasaisena, nousee ahtopaine lähes symmetrisesti moottorin kierrosten kanssa. Ahtopaine on kiihdyttäessä 1241 r/min kierroksilla 0,55 bar ja 2234 r/min kierroksilla 1,1 bar. Kun ruiskutusta on lisäksi säädetty suuremmalle, nousee ahtopaine ehkä normaalia korkeammaksi. Tämä saattaa myös selittää sen, miksi paras vääntömomentti saavutetaan paljon valmistajan ilmoittamaa pyörintänopeutta korkeammilla kierroksilla.

Jos moottorin kunnostuksen olisi teettänyt kokonaan korjaamolla, olisi remontin hinta ollut paljon isompi. Koska minä työskentelin kyseisellä korjaamolla, missä työ tehtiin, sain varaosat sisäänostohinnalla, eli osiin olisi pitänyt laittaa n. 35 prosenttia lisää hintaa. Lisäksi työaikaa kului neljä ja puoli työpäivää eli 36 tuntia ja kyseisen korjaamon tuntiveloitus oli silloin 93 euroa. Eli osien hinnaksi olisi tullut 3217,72 euroa ja työn hinnaksi 3348 euroa, yhteensä 6565,72 euroa. Jotta nämä kunnostuskustannukset saataisiin katettua, olisi autolla silloin ajettava 100240 kilometriä.

Vanhan ajoneuvon korjaaminen on aina kyseenalaista. Varsinkin jos kyseessä on raskas kalusto, ei rahan menolle tunnu näkyvän loppua. Ennen moottorin kunnostusta ovat korjauskohteena olleet mm. vaihteisto, jousitus ja ruosteongelmat. Polttoaineen hintojen jatkaessa nousua olisi ehkä kannattavaa säätää ainakin tässä linja-autossa polttoaineen syöttöä hieman pienemmälle.

8 LÄHTEET

1. Scania Ab. Käyttöohjekirja. Scania linja-autot. Julkaisupaikka ei tiedossa. Svenska Teknobild Ab/ Trosa Tryckeri Ab. 1983.
2. Sim Racing Oy. [verkkodokumentti]. [viitattu 11.5.2011]. Saatavissa: <http://www.vbox.fi/#/tuotteet/4531223906>
3. Ajoneuvohallintokeskus. Dieselkäyttöisten autojen katsastukseen liittyvä pakokaasupäästöjen tarkastus. [verkkodokumentti]. Päivitetty 7.11.2007 [viitattu 12.5.2011]. Saatavissa: <http://www.ake.fi/NR/rdonlyres/55CD138B-C52B-4813-98BD-264A91CB1D3E/0/19892082007.pdf>
4. Robert Bosch GmbH. Autoteknillinen taskukirja 6. painos. Jyväskylä: Gummerus Oy. 2003.
5. Webmoon Oy. [verkkodokumentti]. Päivitetty 30.3.2012 [viitattu 30.3.2012] Saatavissa: <http://www.polttoaine.net>

Moottorin kunnostuksen kustannukset

Asiakas: 2610

WIIK VESA

KALLIOTIE 14
07230 MONNINKYLÄ
SUOMIToimitusasiakas:
WIIK VESA
KALLIOTIE 14
07230 MONNINKYLÄ
SUOMI

LASKU

Sivu: 1

Laskun numero: 18555
Päivämäärä: 6.5.2010 (2)
Viitteenne: SCANIA-BUSSI
Viitteenme:
Toimituspäivä: 6.5.2010
Maksuehdot: 8 PÄIVÄÄ NETTO
Eräpäivä: 14.5.2010
Huomautusaika: 7 pv

Nimike/Työselite/Koodi	Kpl	A-hinta	ALV 0%	Summa	ALV 0%	ALV	Summa *)
REIKÄSUUTIN	6,00	67,62		243,44	53,56	297,00	1
0433271874000		999	40,00%				
AHDIN T04B	1,00	557,38		557,38	122,62	680,00	1
465744-5001S		020					
MÄNNÄNRENGAS SRJ SCANIA	6,00	40,67		195,23	42,95	238,18	1
99		020	20,00%				
VENT.OHJAIN IMU	6,00	2,84		13,61	3,00	16,61	1
99		020	20,00%				
YLÄPÄÄNTIIVISTE SRJ	3,00	34,12		102,37	22,52	124,89	1
039-253802		020					
KK.LAAKERIT	1,00	33,61		33,61	7,39	41,00	1
058-B91606-000		020					
ÖLJYPOHJAN TIIVISTE	1,00	9,02		9,02	1,96	11,00	1
041-282065		020					
PAKO-OHJAIN	6,00	2,30		13,77	3,03	16,80	1
071-40958		020					
IMUVENTTIILI	6,00	5,66		33,93	7,47	41,40	1
070-34961-6		020					
BP PAKKASNESTE	1,50	1,32		1,98	0,44	2,42	1
N02		710					
SYLINTERIKANSIEN KONEISTUS	1,00	327,87		327,87	72,13	400,00	1
DS18		610					
RK.LAAKERI SRJ	1,00	54,92		54,92	12,08	67,00	1
058-M91604-000		999					
RK.VÄLILAAKERI	1,00	6,39		6,39	1,41	7,80	1
058-W2360-000		999					
SUUTINTIIVISTE 10KPL	1,00	12,13		12,13	2,67	14,80	1
S11		999					
ILMASUODATIN	1,00	56,64		39,65	8,72	48,37	1
09-MAT6618		020	30,00%				
PA-SUODATIN	2,00	5,33		5,86	1,29	7,15	1
09-KC 24		020	45,00%				
ÖLJYSUODATIN 1-3 SRJ	1,00	6,64		3,66	0,80	4,46	1
09-OC 83		020	45,00%				
KORKKI	1,00	21,43		12,85	2,83	15,68	1
51971417006		610	40,00%				
JARRUPUTKI 8X1	11,00	0,45		4,96	1,09	6,05	1
8282519076		030					

Siirretään 2 040,61

Pankkiviite:

Moottorin kunnostuksen kustannukset

Asiakas: 2610

WIIK VESA

KALLIOTIE 14
07230 MONNINKYLÄ
SUOMI

LASKU

Laskun numero: 18555
Päivämäärä: 6.5.2010 (2)
Viitteenne: SCANIA-BUSSI
Viittemme:
Toimituspäivä: 6.5.2010
Maksuehdot: 8 PÄIVÄÄ NETTO
Eräpäivä: 14.5.2010
Huomautusaika: 7 pv
Viivästyskorko: 13,00

Sivu: 2

Nimike/Työselite/Koodi	Kpl	A-hinta ALV 0%	Summa ALV 0%	ALV	Summa *)
				Siirretty	2 040,61
BP ENERGEGAR HYPO 88W-90- M009	11,80	1,65	19,44	4,28	23,72
SUPER HPD 10W-40 SYNT. M030	18,00	1,86	33,49	7,37	40,86 1
BP PAKKASNESTE N02	10,00	1,32	13,20	2,90	16,10 1
YLÄKANSI TAKAILMAJOUSIK-112- 11-1802	1,00	94,92	61,70	13,57	75,27
ILMAJOUSI (B-166) K112 TAKA 11-4895	1,00	81,80	53,17	11,70	64,87
1 Verollinen 22 %	1 853,63 +ALV	22,00 %	407,80	=	2 261,43

KÄYTTÄKÄÄ MAKSAESSANNE PANKKIVIITETTÄ

Pankkiviite: XXXXXXXXXX

Yhteensä: 2 261,43 EUR